



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2003101160 A**(43) Date of publication of application: **04.04.03**

(51) Int. Cl.

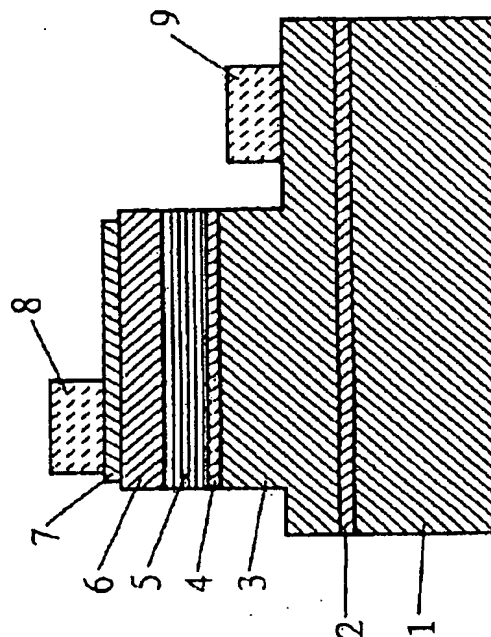
**H01S 5/343**  
**H01L 33/00**
(21) Application number: **2002268261**(22) Date of filing: **16.12.97**
(30) Priority: **09.01.97 JP 09001937**  
**27.01.97 JP 09012707**  
**03.04.97 JP 09102793**
(62) Division of application: **09364012**(71) Applicant: **NICHIA CHEM IND LTD**
(72) Inventor: **NAGAHAMA SHINICHI**  
**SENOO MASAYUKI**  
**NAKAMURA SHUJI**
(54) **NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT**

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a nitride semiconductor element of high power efficiency.

**SOLUTION:** On a substrate, there are provided an n-type nitride semiconductor layer region in which an n-side contact layer, an n-side clad layer, and an n-side light guide layer are laminated. An active layer comprising the nitride semiconductor formed on the n-side light guide layer, and a p-type nitride semiconductor layer region in which, being formed on the active layer, a p-side light guide layer, a p-side clad layer, and a p-side contact layer, are laminated. The p-side clad layer is a super-lattice layer in which a first layer comprising a nitride semiconductor of film-thickness 10 to 100 Å, comprising no Al, and a second layer comprising a nitride semiconductor of film-thickness 10 to 100 Å, which has a composition different from the first layer but contains Al, are laminated.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-101160

(P2003-101160A)

(43) 公開日 平成15年4月4日 (2003.4.4)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 S 5/343

H 0 1 L 33/00

識別記号

6 1 0

F I

H 0 1 S 5/343

H 0 1 L 33/00

テ-マ-コ-ド\*(参考)

6 1 0

5 F 0 4 1

C 5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数27 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2002-268261(P2002-268261)

(62) 分割の表示 特願平9-364012の分割

(22) 出願日 平成9年12月16日(1997.12.16)

(31) 優先権主張番号 特願平9-1937

(32) 優先日 平成9年1月9日(1997.1.9)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-12707

(32) 優先日 平成9年1月27日(1997.1.27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-102793

(32) 優先日 平成9年4月3日(1997.4.3)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 妹尾 雅之

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(74) 代理人 100074354

弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

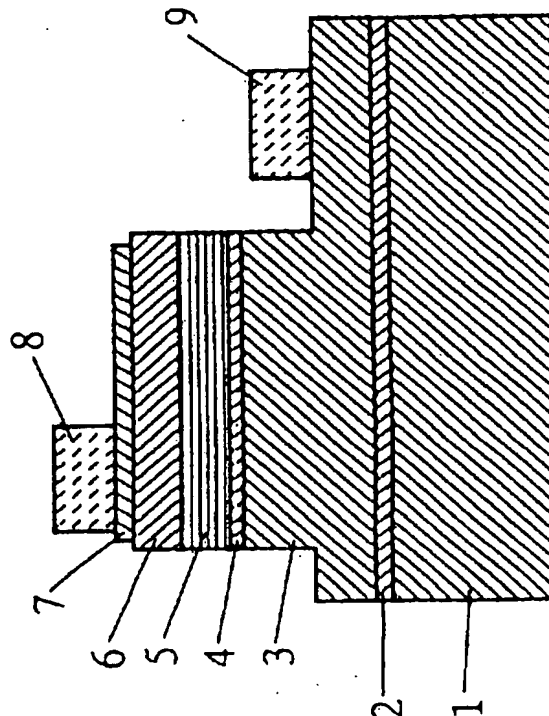
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 電力効率のよい窒化物半導体素子を提供する。

【解決手段】 基板上に、n側コンタクト層、n側クラッド層及びn側光ガイド層が積層されたn型窒化物半導体層領域と、n側光ガイド層上に形成された窒化物半導体からなる活性層と、その活性層上に形成された、p側光ガイド層、p側クラッド層及びp側コンタクト層が積層されたp型窒化物半導体層領域とを有し、p側クラッド層を、100オングストローム以上で1000オングストローム以下の膜厚を有し、Alを含まない窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ100オングストローム以上で1000オングストローム以下の膜厚を有し、Alを含む窒化物半導体からなる第2の層とが積層された超格子層とした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、 $n$  側コンタクト層、 $n$  側クラッド層及び  $n$  側光ガイド層が積層された  $n$  型窒化物半導体層領域と、窒化物半導体からなる活性層と、 $p$  側光ガイド層、 $p$  側クラッド層及び  $p$  側コンタクト層が積層された  $p$  型窒化物半導体層領域とを有する窒化物半導体素子であって、

前記  $p$  側クラッド層は、 $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含まない窒化物半導体からなる第 1 の層と、該第 1 の層と組成が異なりかつ  $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含む窒化物半導体からなる第 2 の層とが積層された超格子層であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 2】 前記第 1 の層及び前記第 2 の層の内の少なくとも一方に、 $p$  型不純物がドーピングされた請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3】 前記第 1 の層及び前記第 2 の層にドーピングされた  $p$  型不純物の濃度が互いに異なる請求項 2 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 4】 前記第 1 の層と前記第 2 の層とのバンドギャップエネルギーが互いに異なり、かつバンドギャップエネルギーが大きい層の不純物濃度を大きくした請求項 2 又は 3 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 5】 基板上に、 $n$  側コンタクト層、 $n$  側クラッド層及び  $n$  側光ガイド層が積層された  $n$  型窒化物半導体層領域と、窒化物半導体からなる活性層と、 $p$  側光ガイド層、 $p$  側クラッド層及び  $p$  側コンタクト層が積層された  $p$  型窒化物半導体層領域とを有する窒化物半導体素子であって、

前記  $p$  側クラッド層及び前記  $n$  側クラッド層のうち少なくとも一つは、 $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含まない窒化物半導体からなる第 1 の層と、該第 1 の層と組成が異なりかつ  $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含む窒化物半導体からなる第 2 の層とが積層された超格子層であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 6】 前記  $p$  側クラッド層が前記超格子層であり、前記第 1 の層及び前記第 2 の層の内の少なくとも一方に、 $p$  型不純物がドーピングされた請求項 5 の窒化物半導体素子。

【請求項 7】 前記第 1 の層及び前記第 2 の層にドーピングされた  $p$  型不純物の濃度が互いに異なる請求項 6 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8】 前記第 1 の層と前記第 2 の層とのバンドギャップエネルギーが互いに異なり、かつバンドギャップエネルギーが大きい層の不純物濃度を大きくした請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】 前記  $n$  側クラッド層が前記超格子層であり、前記第 1 の層及び前記第 2 の層の内の少なくとも一方に、 $n$  型不純物がドーピングされた請求項 5 の窒化物半導

体素子。

【請求項 10】 前記第 1 の層及び前記第 2 の層にドーピングされた  $n$  型不純物の濃度が互いに異なる請求項 9 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 11】 前記第 1 の層と前記第 2 の層とのバンドギャップエネルギーが互いに異なり、かつバンドギャップエネルギーが大きい層の不純物濃度を大きくした請求項 10 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 12】 前記第 2 の層が、式  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (ただし、 $0 < y \leq 1$ ) であらわされる窒化物半導体である請求項 1 ~ 11 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 13】 前記超格子層において、前記第 1 の層が式  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) で表される窒化物半導体からなり、かつ前記第 2 の層が式  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (ただし、 $0 < y \leq 1$ ) で表される窒化物半導体からなる請求項 12 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 14】 前記超格子層において、前記第 1 の層が式  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x < 1$ ) で表される窒化物半導体からなり、かつ前記第 2 の層が式  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (ただし、 $0 < y < 1$ ) で表される窒化物半導体からなる請求項 13 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 15】 前記第 1 の層及び前記第 2 の層がそれぞれ、 $70\text{ \AA}$  以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる請求項 1 ~ 14 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 16】 前記  $p$  側コンタクト層の膜厚が  $500\text{ \AA}$  以下である請求項 1 ~ 15 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 17】 前記  $p$  側コンタクト層の膜厚がさらに、 $300\text{ \AA}$  以下、 $10\text{ \AA}$  以上である請求項 16 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 18】 基板上に、 $n$  側コンタクト層、 $n$  側クラッド層及び  $n$  側光ガイド層が積層された  $n$  型窒化物半導体層領域と、窒化物半導体からなる活性層と、 $p$  側光ガイド層、 $p$  側クラッド層及び  $p$  側コンタクト層が積層された  $p$  型窒化物半導体層領域とを有する窒化物半導体素子であって、

前記  $n$  側クラッド層が、 $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含まない窒化物半導体からなる第 1 の層と、該第 1 の層と組成が異なりかつ  $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含む窒化物半導体からなる第 2 の層とが積層された超格子層であり、かつ前記  $p$  側クラッド層が、 $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含まない窒化物半導体からなる第 3 の層と、該第 3 の層と組成が異なりかつ  $10\text{ \AA}$  以上で  $100\text{ \AA}$  以下の膜厚を有し、 $\text{Al}$  を含む窒化物半導体からなる第 4 の層とが積層された超格子層であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 19】 前記  $p$  側クラッド層及び該  $p$  側クラッド層より上に形成されている層において、共振方向に峰

状のリッジ部が形成された請求項 18 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 20】 前記活性層は、インジウムを含む窒化物半導体を有する請求項 1～19 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 21】 前記窒化物半導体素子が、サファイア基板の C 面上に形成されている請求項 1～20 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 22】 前記窒化物半導体素子が、サファイア基板の C 面上に Si をドープした GaN 層を成長させた後、サファイア基板を除去した GaN 基板上に形成されている請求項 1～20 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 23】 前記 n 側光ガイド層は GaN ある請求項 1～22 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 24】 前記 n 側光ガイド層は InGaIn である請求項 1～22 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 25】 前記 p 側光ガイド層は GaN である請求項 1～24 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 26】 前記 p 側光ガイド層は InGaIn である請求項 1～24 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 27】 前記窒化物半導体素子は、前記活性層に接して、Al を含む窒化物半導体よりなる p 側キャップ層を有し、その p 側キャップ層よりも活性層から離れた位置に、前記 p 側キャップ層よりもバンドギャップエネルギーが小さい p 側光ガイド層を有する請求項 1～26 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は LED（発光ダイオード）、LD（レーザダイオード）等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、又はトランジスタ等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$ ）よりなる素子に関する。なお、本明細書において使用する一般式  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  等は単に窒化物半導体層の組成式を示すものであって、異なる層が例えば同一の一般式で示されていても、それらの層の X 値、Y 値が一致していることまで示すものではない。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体は高輝度青色 LED、純緑色 LED の材料として、フルカラー LED ディスプレイ、交通信号等で最近実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用される LED は、n 型窒化物半導体層と p 型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造（SQW: Single-Quantum-Well）の InGaIn より

なる活性層が挟まれたダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長は InGaIn 活性層の In 組成比を増減することで決定されている。

【0003】 また、本出願人は、最近この材料を用いてパルス電流下、室温での 410 nm のレーザ発振を世界で初めて発表した（例えば、Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35 (1996) pp. L74-76）。このレーザ素子はパルス幅 2  $\mu$ s、パルス周期 2 ms の条件で、閾値電流 610 mA、閾値電流密度 8.7 kA/cm<sup>2</sup>、410 nm の発振を示す。さらにまた、閾値電流が低い改良したレーザ素子を、Appl. Phys. Lett., Vol. 69, No. 10, 2 Sep. 1996, p. 1477-1479 において発表した。このレーザ素子は、p 型窒化物半導体層の一部にリッジストライプが形成された構造を有しており、パルス幅 1  $\mu$ s、パルス周期 1 ms、デューティー比 0.1% で、閾値電流 187 mA、閾値電流密度 3 kA/cm<sup>2</sup>、410 nm の発振を示す。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 窒化物半導体よりなる青色、緑色 LED は順方向電流（If）20 mA で、順方向電圧（Vf）が 3.4 V～3.6 V あり、GaAlAs 系の半導体よりなる赤色 LED に比べて 2 V 以上高いため、さらなる Vf の低下が望まれている。また、LD では閾値での電流、電圧が未だ高く、室温で連続発振させるためには、この閾値電流、電圧が下がるような、さらに電力効率の高い素子を実現する必要がある。

【0005】 従って本発明の目的とするところは、主として窒化物半導体よりなる LD 素子の閾値での電流、電圧を低下させることにより連続発振を実現し、また LED 素子では Vf を低下させ、信頼性が高く、電力効率に優れた窒化物半導体素子を実現することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明者らは、窒化物半導体素子について、活性層を挟んだ p 型層、及び／又は n 型層を改良すべく鋭意検討した結果、活性層を除く p 型層、及び／又は n 型層に超格子層を用いることにより、超格子層を用いた層の結晶性を良好にでき、前記問題を解決できることを新たに発見し本発明を成すに至った。

【0007】 すなわち、本発明に係る第 1 の窒化物半導体素子は、基板上に、n 側コンタクト層、n 側クラッド層及び n 側光ガイド層が積層された n 型窒化物半導体層領域と、窒化物半導体からなる活性層と、p 側光ガイド層、p 側クラッド層及び p 側コンタクト層が積層された p 型窒化物半導体層領域とを有する窒化物半導体素子であって、前記 p 側クラッド層は、10 Å 以上で 100 Å 以下の膜厚を有し、Al を含まない窒化物半導体からなる第 1 の層と、該第 1 の層と組成が異なりかつ 10 Å 以上で 100 Å 以下の膜厚を有し、Al を含む窒化物半導体からなる第 2 の層とが積層された超格子層であることを特徴とする。これによって、前記超格子層からなる p

型窒化物半導体層の抵抗値を極めて低くできるので、窒化物半導体素子の電力効率を高くすることができる。また、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、前記超格子層は、 $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第1の層と該第1の層と組成が異なりかつ $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第2の層とが積層されているので、前記超格子層の結晶性を良くできる。p型のクラッド層に超格子構造を適用することによる閾値電流、電圧を低げる効果は大きく、本発明では、閾値電流、電圧を顕著に低下させることができる。

【0008】本発明に係る第1の窒化物半導体素子では、前記第1の層及び前記第2の層の内の少なくとも一方に、p型不純物をドーピングすることが好ましく、前記第1の層及び前記第2の層にドーピングされたp型不純物の濃度は互いに異なっていることが好ましい。また、上記第1の窒化物半導体素子では、前記第1の層と前記第2の層とのバンドギャップエネルギーが互いに異なる場合、バンドギャップエネルギーが大きい層の不純物濃度を大きくすることが好ましい。

【0009】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子は、基板上に、n側コンタクト層、n側クラッド層及びn側光ガイド層が積層されたn型窒化物半導体層領域と、窒化物半導体からなる活性層と、p側光ガイド層、p側クラッド層及びp側コンタクト層が積層されたp型窒化物半導体層領域とを有する窒化物半導体素子であって、前記p側クラッド層及び前記n側クラッド層のうち少なくとも一つは、 $10\text{ \AA}$ 以上で $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有し、Alを含まない窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ $10\text{ \AA}$ 以上で $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有し、Alを含む窒化物半導体からなる第2の層とが積層された超格子層であることを特徴とする。

【0010】本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記p側クラッド層が前記超格子層である場合には、前記第1の層及び前記第2の層の内の少なくとも一方に、p型不純物をドーピングすることが好ましく、また、前記第1の層及び前記第2の層にドーピングされたp型不純物の濃度は互いに異なっていることが好ましい。本発明に係る第2の窒化物半導体素子では、前記第1の層と前記第2の層とのバンドギャップエネルギーが互いに異なる場合、バンドギャップエネルギーが大きい層の不純物濃度を大きくすることが好ましい。

【0011】本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記n側クラッド層が前記超格子層である場合には、前記第1の層及び前記第2の層の内の少なくとも一方にn型不純物をドーピングすることが好ましく、また、記第1の層及び前記第2の層、にドーピングされたn型不純物の濃度が互いに異なっていることが好ましい。この際、前記第1の層と前記第2の層とのバンドギャップエネル

ギーが互いに異なる場合、かつバンドギャップエネルギーが大きい層の不純物濃度を大きくすることが好ましい。

【0012】また、本発明に係る第3の窒化物半導体素子は、基板上に、n側コンタクト層、n側クラッド層及びn側光ガイド層が積層されたn型窒化物半導体層領域と、窒化物半導体からなる活性層と、p側光ガイド層、p側クラッド層及びp側コンタクト層が積層されたp型窒化物半導体層領域とを有する窒化物半導体素子であって、前記n側クラッド層が、 $10\text{ \AA}$ 以上で $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有し、Alを含まない窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ $10\text{ \AA}$ 以上で $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有し、Alを含む窒化物半導体からなる第2の層とが積層された超格子層であり、かつ前記p側クラッド層が、 $10\text{ \AA}$ 以上で $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有し、Alを含まない窒化物半導体からなる第3の層と、該第3の層と組成が異なりかつ $10\text{ \AA}$ 以上で $100\text{ \AA}$ 以下の膜厚を有し、Alを含む窒化物半導体からなる第4の層とが積層された超格子層であることを特徴とする。

【0013】上記第3の窒化物半導体素子では、前記p側クラッド層及び該p側クラッド層より上に形成されている層において、共振方向に峰状のリッジ部を形成するようにしてもよい。

【0014】本発明に係る第1～第3の窒化物半導体素子では、前記活性層は、インジウムを含む窒化物半導体を有していてもよい。また、前記第1～第3の窒化物半導体素子は、サファイア基板のC面上に形成するようにしてもよいし、前記第1～第3の窒化物半導体素子は、サファイア基板のC面上にSiをドーピングしたGaN層を成長させた後、サファイア基板を除去したGaN基板上に形成するようにしてもよい。前記第1～第3の窒化物半導体素子において、前記n側光ガイド層はGaNであってもよいし、InGaNであってもよい。前記第1～第3の窒化物半導体素子において、前記p側光ガイド層はGaNであってもよいし、InGaNであってもよい。前記第1～第3の窒化物半導体素子において、前記活性層に接して、Alを含む窒化物半導体よりなるp側キャップ層を有し、そのp側キャップ層よりも活性層から離れた位置に、前記p側キャップ層よりもバンドギャップエネルギーが小さいp側光ガイド層を設けるようにすることが好ましい。

【0015】また、本発明の第1～第3の窒化物半導体素子において、超格子層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) からなる第1の層と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y \leq 1$ ,  $X=Y \neq 0$ ) からなる第2の層とを積層することにより構成すると、一般式 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、及び $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で表される窒化物半導体は結晶性の良い半導体層が得られることから、結晶欠陥の少ない層を形成できる。これにより、窒化物半導体全体の結晶性

が良くなり、該素子の出力を向上（電力効率の向上）、該素子がLED素子又はLD素子である場合には、 $V_f$ 、閾値電流、電圧等を低くすることができる。尚、本発明の第1～第3の窒化物半導体素子では、さらに結晶欠陥の少ない層を形成するために、前記超格子層において、前記第1の層が式  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X < 1$ ) で表される窒化物半導体からなり、かつ前記第2の層が式  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < Y < 1$ ) で表される窒化物半導体からなることがさらに好ましい。

【0016】また、本発明の第1～第3の窒化物半導体素子において、前記第1の層、及び第2の層の膜厚は、上述のように、70 Å以下であることが好ましいが、さらに好ましくは40 Å以下に設定する。また、本発明では、前記第1の層、及び第2の層の膜厚は10 Å以上に設定する。この範囲内に設定することにより、従来では成長させにくかった  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < Y \leq 1$ ) 等の窒化物半導体層が結晶性良く形成することができる。特に、p電極と活性層との間にあるp型窒化物半導体層の内の少なくとも一層、及び／又はn電極が形成される電流注入層としてのn側コンタクト層と活性層との間にあるn型窒化物半導体層の内の少なくとも一層を超格子層とする場合に、その超格子層を構成する第1の層、及び第2の層を前記膜厚に設定することによる効果が大きい。

【0017】また、本発明の第1～第3の窒化物半導体素子においては、p電極を形成するためのp側コンタクト層を備え、該p側コンタクト層の膜厚を500 Å以下に設定することが好ましい。このように、p側コンタクト層を薄く形成することにより、該p側コンタクト層の厚さ方向の抵抗値を下げるができる。本発明では、300 Å以下に設定することがさらに好ましい。また、該p側コンタクト層の膜厚の下限は、該p型コンタクト層の下の方の半導体層を露出させないように、10 Å以上に設定することが好ましい。

【0018】また、本発明では、基板上に第1のバッファ層を形成し、その上に膜厚0.1 μm以上の窒化物半導体からなる第2のバッファ層を形成して、該第2のバッファ層上に、n型不純物がドーブされた窒化物半導体からなるn側コンタクト層を形成することが好ましい。これによって、キャリア濃度が大きく結晶性のよいn側コンタクト層を形成することができる。さらに結晶性のよい、前記第2バッファ層を形成するために、前記第2のバッファ層の不純物濃度が、前記n側コンタクト層に比較して低濃度であることが好ましい。

【0019】なお、本発明において、導電型を決定する不純物としては、窒化物半導体にドーブされる周期律表第4A族、4B族、第6A族、第6B族に属するn型不純物と、1A、1B族、2A族、2B族に属するp型不純物とがある（以下、本明細書において、適宜n型不純物、p型不純物と記する。）。さらに、上述したよう

に、第1の層と第2の層とでバンドギャップエネルギーが異なる場合には、バンドギャップエネルギーの大きい方の層の不純物濃度を大きくすることが望ましい。これによって、p型窒化物半導体層側に超格子層を形成した場合の変調ドーブによる高出力化が期待できる。本発明では、n側コンタクト層が超格子層であってもよい。n側コンタクト層である超格子層を構成する2つの層でバンドギャップエネルギーが互いに異なり、バンドギャップエネルギーの大きい方の層の不純物濃度を大きくすることにより、後述するHEMTに類似したような効果により電力効率を向上させることができる。例えば、レーザ素子では、さらに閾値電圧、閾値電流が低下する傾向にある。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態の窒化物半導体素子について説明する。

実施形態1. 図1は、本発明に係る実施形態1の窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図であり、該窒化物半導体素子は、基本的な構造として、サファイアよりなる基板1の上に、GaNよりなるバッファ層2、Siドーブn型GaNよりなるn側コンタクト層3、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層4、互いに組成の異なる第1の層と第2の層とが積層された超格子層よりなるp側クラッド層5、MgドーブGaNよりなるp側コンタクト層6とが順に積層されているLED素子である。なお、実施形態1の窒化物半導体素子において、p側コンタクト層6表面のほぼ全面には、透光性の全面電極7が形成され、全面電極7の表面にはボンディング用のp電極8が設けられており、さらにp側コンタクト層6より窒化物半導体層の一部をエッチング除去して露出されたn側コンタクト層2の表面にはn電極9が設けられている。

【0021】ここで、実施形態1の窒化物半導体素子は、例えばp型不純物としてMgをドーブした  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) よりなる膜厚300 Åの第1の層と、同じくp型不純物としてMgを第1の層と同量でドーブしたp型  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y \leq 1$ ) よりなる膜厚300 Åの第2の層とが積層された超格子層で構成された低い抵抗値を有するp側クラッド層5を備えているので、 $V_f$ を低くできる。このように超格子層をp層側に形成する場合は、Mg、Zn、Cd、Be等のp型不純物を第1の層、及び／又は第2の層にドーブしてp型の導電型を有する超格子層とする。積層順としては、第1+第2+第1・・・、若しくは第2+第1+第2・・・の順でも良く、少なくとも合計2層以上積層する。

【0022】尚、超格子層を構成する窒化物半導体よりなる第1の層及び第2の層は、  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) よりなる層及び  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y \leq 1$ ) よりなる層に限定されるわけではなく、互いに組

成が異なる窒化物半導体で構成されていれば良い。また、第1の層と第2の層とのバンドギャップエネルギーが異なっても、同一でもかまわない。例えば、第1の層を  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) で構成し、第2の層を  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < Y \leq 1$ ) で構成すると、第2の層のバンドギャップエネルギーが必ず第1の層よりも大きくなるが、第1の層を  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) で構成し、第2の層を  $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$  ( $0 < Z \leq 1$ ) で構成すれば、第1の層と第2の層とは組成が異なるがバンドギャップエネルギーが同一の場合もあり得る。また第1の層を  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y \leq 1$ ) で構成し、第2の層を  $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$  ( $0 < Z \leq 1$ ) で構成すれば、同様に第1の層と第2の層とは組成が異なるがバンドギャップエネルギーが同一の場合もあり得る。すなわち、本発明は、後述する作用を有する超格子層であれば、第1の層と第2の層のバンドギャップエネルギーが同じであっても、異なっても良い。以上のように、ここで言う超格子層とは、組成の異なる極めて薄い層が積層されたものであって、各層の厚さが十分薄いために、格子不整に伴う欠陥が発生することなく積層された層のことをいい、量子井戸構造を含む広い概念である。また、この超格子層は、内部に欠陥は有しないが、通常、格子不整に伴う歪みを有するので歪み超格子とも呼ばれる。本発明において、第1の層、第2の層のN(窒素)を一部As、P等のV族元素で置換してもNが存在している限り窒化物半導体に含まれる。

【0023】本発明において、超格子層を構成する第1の層、第2の層の膜厚は、100オングストロームよりも厚いと、第1の層及び第2の層が弾性歪み限界以上の膜厚となり、該膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすくなるので、100オングストローム以下の膜厚に設定することが好ましい。また、第1の層、第2の層の膜厚の下限は特に限定されず1原子層以上であればよい。しかしながら、本発明では、第1の層、第2の層の膜厚は、100オングストロームであると窒化物半導体の臨界(弾性歪み)限界膜厚に十分に達しておらず、弾性歪み限界膜厚以下にして窒化物半導体の結晶欠陥をより少なくするため70オングストローム以下に設定することが好ましく、さらに好ましくはより薄く設定し、40オングストローム～10オングストロームに設定することが最も好ましい。また、本発明では、10オングストローム以下(1原子層又は2原子層)に設定してもよいが、10オングストローム以下に設定すると、例えば、500オングストローム以上の膜厚のクラッド層を超格子層で形成する場合、積層数が多くなり、製造工程上、形成時間及び手間がかかるので、第1の層、第2の層の膜厚は、10オングストロームより厚く設定することが好ましい。

【0024】図1に示す本実施形態1の窒化物半導体素

子の場合、超格子層よりなるp型クラッド層5は、活性層4と電流注入層であるp側コンタクト層6との間に形成されて、キャリア閉じ込め層として作用している。このように、特に超格子層をキャリア閉じ込め層とする場合には、超格子層の平均バンドギャップエネルギーを活性層よりも大きくする必要がある。窒化物半導体では、 $\text{AlN}$ 、 $\text{AlGaIn}$ 、 $\text{InAlN}$ 等のAlを含む窒化物半導体が、比較的大きなバンドギャップエネルギーを有するので、キャリア閉じ込め層としてこれらの層が用いられる。しかし、従来のように $\text{AlGaIn}$ 単一で厚膜を成長させると結晶成長中にクラックが入りやすい性質を有している。

【0025】そこで、本発明では、超格子層の第1の層、及び第2の層の内の少なくとも一方を少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < Y \leq 1$ )を弾性歪み限界以下の膜厚で形成して超格子層を構成することにより、クラックの少ない非常に結晶性の良い超格子層を成長形成させ、しかもバンドギャップエネルギーが大きな層を形成している。この場合さらに好ましくは、第1の層にAlを含まない窒化物半導体層を100オングストローム以下の膜厚で成長させると、Alを含む窒化物半導体よりなる第2の層を成長させる際のバッファ層としても作用し、第2の層にクラックを入りにくくする。そのため第1の層と第2の層とを積層してもクラックのない結晶性のよい超格子層を形成できる。従って、本実施形態1では、超格子層を  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) からなる第1の層(第2の層)と  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y \leq 1$ ,  $X \neq Y = 0$ ) からなる第2の層(第1の層)とすることが好ましい。

【0026】また、本実施形態1の窒化物半導体素子において、超格子層であるp側クラッド層5を構成する第1の層及び第2の層の内の少なくとも一方の層には、キャリア濃度を調整するために、該層の導電型をp型に設定するp型の不純物がドーピングされることが好ましい。また、第1の層と第2の層とにp型の不純物をドーピングする場合、第1の層と第2の層とで異なる濃度でドーピングしてもよく、さらに、第1の層と第2の層とのバンドギャップエネルギーが異なる場合には、バンドギャップエネルギーが大きな層の方を高濃度とすることが望ましい。なぜなら、第1の層、第2の層にそれぞれ異なる濃度で不純物をドーピングすると、変調ドーピングによる量子効果によって、一方の層のキャリア濃度が実質的に高くなり超格子層全体の抵抗値を低下させることができるからである。このように、本発明では、第1の層と、第2の層の両方に不純物を異なる濃度でそれぞれドーピングしても良いし、第1の層、第2の層のいずれか一方に不純物をドーピングしても良い。

【0027】なお、第1の層及び第2の層にドーピングされる不純物濃度は、特に本発明はこれに限定されないが、

p 型不純物で通常、 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、最も好ましくは  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  の範囲に調整することが望ましい。 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  よりも少ないと  $V_f$ 、閾値電圧を低下させる効果が得られにくく、 $1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$  よりも多いと超格子層の結晶性が悪くなる傾向にあるからである。また n 型不純物も同様の範囲に調整することが望ましい。理由は同じである。

【0028】しかしながら、本発明では、超格子層には、第 1 の層及び第 2 の層に導電型を決定する不純物がドーピングされていなくてもよい。この不純物がドーピングされない超格子層は、n 型窒化物半導体層領域であれば活性層と基板との間におけるいずれの層であってもよく、一方、p 型窒化物半導体層領域であれば、キャリア閉じ込め層（光閉じ込め層）と、活性層との間におけるいずれの層であってもよい。

【0029】以上のように構成された超格子層は、第 1 の層、及び第 2 の層を弾性歪み限界以下の膜厚にして積層して形成しているので、結晶の格子欠陥を低下させることができ、かつ微少なクラックを減少させることができ、結晶性を飛躍的に良くすることができる。この結果、結晶性をあまり損なうことなく、不純物のドーピング量を多くでき、これによって、n 型窒化物半導体層、p 型窒化物半導体層のキャリア濃度を増加させることができ、かつ該キャリアが結晶欠陥によって散乱されることなく移動できるので、超格子構造を有しない p 型又は n 型の窒化物半導体に比較して抵抗率を 1 桁以上低くすることができる。

【0030】従って、本実施形態 1 の窒化物半導体素子（LED 素子）では、従来、低抵抗な窒化物半導体層を得ることが困難であった p 層側（p 型半導体層領域（p 型クラッド層 5 と p 型コンタクト層 6 とからなる領域））の p 型クラッド層 5 を超格子層を用いて形成して、該 p 型クラッド層 5 の抵抗値を低くすることにより、 $V_f$  を低くすることができる。つまり、p 型窒化物半導体は、p 型結晶が非常に得られにくい半導体であり、得られたとしても、n 型窒化物半導体に比べて、通常抵抗率が 2 桁以上高い。そのため p 型の超格子層を p 層側に形成することにより、超格子層で構成された p 型層を極めて低抵抗にすることができ、 $V_f$  の低下が顕著に現れる。従来、p 型結晶を得るため技術として、p 型不純物をドーピングした窒化物半導体層をアニーリングして、水素を除去することにより p 型の窒化物半導体を作製する技術が知られている（特許第 2540791 号）。しかし、p 型の窒化物半導体を得られたといってもその抵抗率は、数  $\Omega \cdot \text{cm}$  以上もある。そこで、この p 型層を p 型の超格子層とすることにより結晶性が良くなり、我々の検討によると、該 p 層の抵抗率を従来に比較して、1 桁以上低くすることができ、 $V_f$  の低下させ

る効果が顕著に現れる。

【0031】また、本実施形態 1 では、前記のように好ましくは第 1 の層（第 2 の層）を  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) とし、第 2 の層（第 1 の層）を  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $x \neq y = 0$ ) で構成することにより、結晶性のよいクラックのない超格子層を形成することができるので、素子寿命を向上させることができる。

【0032】次に、我々が以前に出願した特許公報を含む公知文献に開示された従来例と本発明とを比較して説明する。まず、本発明に類似した技術として、我々は先に特開平 8-228048 号を提案した。この技術は活性層を挟む n 型クラッド層の外側、及び／又は p 型クラッド層の外側（つまり活性層からより離れた側）にレーザ光の光反射膜として  $\text{AlGaIn}$ 、 $\text{GaIn}$ 、 $\text{InGaIn}$  等よりなる多層膜を形成する技術である。この技術は光反射膜として多層膜を形成するので、その各層の膜厚が  $\lambda/4n$  ( $n$ : 窒化物半導体の屈折率、 $\lambda$ : 波長) で設計されるため非常に厚い。従って多層膜の各膜厚が弾性歪み限界以下の膜厚ではない。また、USP 5, 146, 465 号には活性層を  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  よりなるミラーで挟んだ構造のレーザ素子が記載されている。この技術も前技術と同様に  $\text{AlGaIn}/\text{AlGaIn}$  をミラーとして作用させるために、各層の膜厚を厚くしなければならない。さらに  $\text{AlGaIn}$  のような硬い半導体をクラックなしに何層も積層することは非常に難しい。

【0033】一方、本実施形態では超格子層を構成するように第 1 と第 2 の層の各膜厚を、設定（好ましくは、両方とも 100 オングストローム以下と臨界膜厚以下に設定する。）しており、前記技術とは異なる。本発明では超格子層を構成する窒化物半導体の歪み超格子による効果を利用し、結晶性を向上させて、 $V_f$  を低下させている。

【0034】さらに、特開平 5-110138、特開平 5-110139 号公報には薄膜の  $\text{AlIn}$  と  $\text{GaIn}$  とを積層して  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  の結晶を得る方法が記載されている。この技術は、所定の混晶比の  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  の混晶を得るために、数十オングストロームの膜厚の  $\text{AlIn}$ 、 $\text{GaIn}$  を積層する技術であって本発明の技術とは異なる。しかも  $\text{InGaIn}$  よりなる活性層を有していないので、超格子層にクラックが入りやすい。また、特開平 6-21511 号、6-268257 号公報では  $\text{GaIn}$  と  $\text{InGaIn}$ 、若しくは  $\text{InGaIn}$  と  $\text{InGaIn}$  とを積層した多重量子井戸構造の活性層を有するダブルヘテロ構造の発光素子が記載されている。本発明では活性層以外の層を多重量子井戸構造とする技術であり、この技術とも異なる。

【0035】さらに本発明の素子では  $\text{InGaIn}$  のような、少なくともインジウムを含む窒化物半導体を活性層



に備える場合に、超格子の効果が顕著に現れる。InGa<sub>1-x</sub>N 活性層はバンドギャップエネルギーが小さく窒化物半導体素子の活性層としては最も適している。そのため In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N と、Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N よりなる超格子層を、活性層を挟設する層として形成すると、活性層とバンドギャップエネルギー差、屈折率差を大きくできるため、該超格子層がレーザ素子を実現する際に非常に優れた光閉じ込め層として動作する（実施形態 2 の窒化物半導体素子に適用）。さらに InGa<sub>1-x</sub>N は結晶の性質が他の AlGa<sub>1-x</sub>N のような Al を含む窒化物半導体に比べて柔らかいので、InGa<sub>1-x</sub>N を活性層とすると、積層した各窒化物半導体層全体にクラックが入りにくくなる。逆に AlGa<sub>1-x</sub>N のような窒化物半導体を活性層とすると、その結晶の性質が硬いために結晶全体にクラックが入りやすくなる傾向にある。

【0036】さらに p 側コンタクト層の膜厚を 500 オングストローム以下、さらに好ましくは 300 オングストローム以下、最も好ましくは 200 オングストローム以下に調整することが望ましい。なぜなら、上述したように抵抗率が数 Ω・cm 以上もある p 型窒化物半導体層の膜厚を 500 オングストローム以下に調整することにより、さらに抵抗率を下げることができるため、閾値での電流、電圧が低下する。また p 型層から除去される水素の量を多くすることができ、さらに抵抗率を低下させることができる。

【0037】以上、詳述したように、本実施の形態 1 の窒化物半導体素子では、p 型クラッド層 5 を第 1 の層と第 2 の層とが積層された超格子層で構成しているので、該 p 型クラッド層 5 を極めて低抵抗にでき、該素子の V<sub>f</sub> を低くできる。

【0038】以上の実施形態 1 では、p 側クラッド層 5 に超格子層を用いたが、本発明はこれに限らず、p 側コンタクト層 6 に p 型の超格子層を用いてもよい。すなわち、電流（正孔）が注入される p 側コンタクト層 6 も例えば In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N よりなる第 1 の層と、Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N よりなる第 2 の層とが積層された p 型の超格子層とすることもできる。p 型コンタクト層 6 を超格子層として、第 1 の層のバンドギャップエネルギーが第 2 の層よりも小さい場合、バンドギャップエネルギーが小さい In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N よりなる第 1 の層を最表面にして p 電極と接触する層とすることが好ましく、これによって、p 電極との接触抵抗が小さくなり好ましいオーミックが得られる。これはバンドギャップエネルギーが小さい第 1 の層の方が、第 2 の層よりもキャリア濃度の高い窒化物半導体層が得られやすい傾向にあるからである。また、本発明では、p 型窒化物半導体層領域に、上述の p 側クラッド層及び p 側コンタクト層以外の p 型窒化物半導体層をさらに形成する場合は、該 p 型窒化物半導体層を超格子層で構成してもよい。

【0039】以上の実施形態 1 では、p 側クラッド層 5

に超格子層を用いたが、本発明は p 型窒化物半導体層領域に限らず、n 型窒化物半導体領域の n 側コンタクト層 3 に n 型の超格子層を用いてもよい。このように、n 側コンタクト層 3 を超格子層とする場合は、例えば、Si、Ge 等の n 型不純物を第 1 の層及び／又は第 2 の層にドーピングして、n 型の導電性を有する超格子層を基板 1 と活性層 4 との間に n 型コンタクト層 3 として形成することができる。この場合、特に n 型コンタクト層 3 を不純物濃度が異なる超格子層とすると横方向の抵抗値が低下して、LD では閾値電圧、電流が低下する傾向にあることが確認された。

【0040】これは、バンドギャップエネルギーの大きな層の方に、多く n 型不純物をドーピングした超格子層を n 層側のコンタクト層として形成した場合について、以下のような HEMT (High-Electron-Mobility-Transistor) に類似した作用が出現した効果が推察される。n 型不純物がドーピングされたバンドギャップの大きい第 1 の層（第 2 の層）と、バンドギャップが小さいアンダー（undoped）；以下、不純物がドーピングされていない状態をアンダーという）の第 2 の層（第 1 の層）とを積層した超格子層では、n 型不純物を添加した層と、アンダーの層とのヘテロ接合界面で、バンドギャップエネルギーの大きな層側が空乏化し、バンドギャップエネルギーの小さな層側の厚さ（100 オングストローム）前後の界面に電子（二次元電子ガス）が蓄積する。この二次元電子ガスがバンドギャップエネルギーの小さな層側にできるので、電子が走行するときに不純物による散乱を受けないため、超格子層の電子の移動度が高くなり、抵抗率が低下すると推察される。

【0041】また、本発明において、n 型窒化物半導体層領域に n 側のクラッド層を設ける場合は、該 n 側のクラッド層を超格子層としてもよい。n 型窒化物半導体層領域に n 側コンタクト層及び n 側クラッド層以外の n 型窒化物半導体層を形成する場合は、該 n 型窒化物半導体層を超格子層としてもよい。しかし、n 型窒化物半導体層領域に超格子層からなる窒化物半導体層を設ける場合、キャリア閉じ込め層としての n 側クラッド層、若しくは電流（電子）が注入される n 側コンタクト層 3 を超格子構造とすることが望ましいことはいうまでもない。

【0042】このように、超格子層を活性層 4 と基板 1 との間の n 型窒化物半導体層領域に設ける場合、超格子層を構成する第 1 の層、第 2 の層には不純物をドーピングしなくても良い。なぜなら窒化物半導体はアンダーでも n 型になる性質があるからである。但し、n 層側に形成する場合においても上述のように、第 1 の層、第 2 の層に Si、Ge 等の n 型不純物をドーピングして、不純物濃度の差を設ける方が望ましい。

【0043】以上のように、超格子層を n 型窒化物半導体層領域に形成した場合の効果は、超格子層を p 型窒化物半導体層領域に設けた場合と同様に、結晶性の向上が

挙げられる。詳細に説明すると、ヘテロ接合を有する窒化物半導体素子の場合、通常 n 型、p 型のキャリア閉じ込め層は、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きい AlGaIn で構成される。AlGaIn は結晶成長が非常に難しく、例えば単一組成で 0.5  $\mu\text{m}$  以上の膜厚で成長させようとすると、結晶中にクラックが入りやすくなる性質がある。しかしながら、本発明のように第 1 の層と、第 2 の層とを弾性歪み限界以下の膜厚で積層して超格子層とすると、単一の第 1 の層、第 2 の層のみで結晶性の良いものが得られるため、全体を膜厚の厚い超格子層としても結晶性が良いままでクラッド層が成長できる。そのため全体の窒化物半導体の結晶性が良くなって n 型領域の移動度が大きくなるので、その超格子層をクラッド層とした素子で  $V_f$  が低下する。さらに、超格子層に Si、Ge の不純物をドーピングして、超格子層をコンタクト層とした場合には前記した HEMT に類似した効果が顕著に現れてくるようになると思われる、閾値電圧、 $V_f$  をさらに低下させることができる。

【0044】このように、本発明において、超格子層は、活性層を挟設する n 型領域又は p 型領域に形成されるキャリア閉じ込め層としてのクラッド層、活性層の光ガイド層、若しくは電極が接して形成される電流注入層として用いられるため、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーが活性層よりも大きくなるように調整することが望ましい。

【0045】実施形態 2. 次に、本発明に係る実施形態 2 について説明する。図 2 は、本発明に係る実施形態 2 の窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図（レーザ光の共振方向に垂直な断面）であり、該窒化物半導体素子は、例えば、C 面を主面とするサファイヤ等の基板 10 上に、n 型窒化物半導体層領域（n 側コンタクト層 12、クラック防止層 13、n 側クラッド層 14 及び n 側光ガイド層 15 からなる。）と p 型窒化物半導体領域（キャップ層 17、p 側光ガイド層 18、p 側クラッド層 19 及び p 側コンタクト層 20 からなる。）とによって挟設された窒化物半導体からなる活性層 16 を備えた窒化物半導体レーザダイオード素子である。

【0046】ここで、本実施形態 2 の窒化物半導体素子は、n 型窒化物半導体層領域における n 側クラッド層 14 を超格子層で形成し、かつ p 型窒化物半導体領域における p 側クラッド層 19 を超格子層で形成することにより、LD 素子である窒化物半導体素子の閾値電圧を低く設定している。以下この図 2 を参照して本発明に係る実施形態 2 の窒化物半導体素子について詳細に説明する。

【0047】この実施形態 2 の窒化物半導体素子においては、まず、基板 10 上にバッファ層 11 と第 2 のバッファ層 112 を介して n 側コンタクト層 12 が形成され、さらに n 側コンタクト層 12 上に、クラック防止層 13、n 側クラッド層 14 及び n 側光ガイド層 15 が積層されて、n 型窒化物半導体層領域が形成される。尚、

クラック防止層 13 の両側に露出された n 側コンタクト層 12 の表面にはそれぞれ、n 側コンタクト層 12 とオーミック接触する n 側電極 23 が形成され、該 n 側電極 23 上には、例えば、ワイヤーボンディング用の n 側パッド電極が形成される。そして、n 側光ガイド層 15 上に窒化物半導体からなる活性層 16 が形成され、さらに該活性層 16 上に、キャップ層 17、p 側光ガイド層 18、p 側クラッド層 19 及び p 側コンタクト層 20 が積層されて p 型窒化物半導体層領域が形成される。さらに、p 側コンタクト層 20 上に該 p 側コンタクト層 20 とオーミック接触する p 側電極 21 が形成され、該 p 側電極 21 上には、例えば、ワイヤーボンディング用の p 側パッド電極が形成される。なお、p 側コンタクト層 20 と p 側クラッド層 19 の上部とによって、共振方向に長く伸びた峰状のリッジ部が構成され、該リッジ部を形成することによって、活性層 16 において、光りを幅方向（共振方向に直交する方向）に閉じ込め、リッジ部（ストライプ状の電極）に垂直な方向で劈開された劈開面を用いて、リッジ部の長手方向に共振する共振器を作製してレーザ発振させる。

【0048】次に、実施形態 2 の窒化物半導体素子の各構成要素について説明する。

（基板 10）基板 10 には C 面を主面とするサファイア、その他、スピネル ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) のような絶縁性の基板の他、SiC (6H、4H、3C を含む)、ZnS、ZnO、GaAs、GaN 等の半導体基板を用いることができる。

【0049】（バッファ層 11）バッファ層 11 は、例えば AlN、GaN、AlGaIn、InGaIn 等を 900℃ 以下の温度で成長させて、膜厚数十オングストローム～数百オングストロームに形成する。このバッファ層 11 は、基板と窒化物半導体との格子定数不正を緩和するために形成するが、窒化物半導体の成長方法、基板の種類等によっては省略することも可能である。

【0050】（第 2 のバッファ層 112）第 2 のバッファ層 112 は、前記バッファ層 11 の上に、前記バッファ層よりも高温で成長させた単結晶の窒化物半導体よりなる層であり、バッファ層 11 よりも厚膜を有する。この第 2 のバッファ層 112 は次に成長させる n 側コンタクト層 12 よりも n 型不純物濃度が少ない層とするか、若しくは n 型不純物をドーピングしない窒化物半導体層、好ましくは GaN 層とすると、第 2 のバッファ層 112 の結晶性が良くなる。最も好ましくは n 型不純物をアンドープの GaN とすると最も結晶性が良い窒化物半導体層が得られる。従来のように負電極を形成する n 側コンタクト層を数  $\mu\text{m}$  以上の膜厚で、高キャリア濃度の単一の窒化物半導体層で構成しようとする、n 型不純物濃度の大きい層を成長させる必要がある。不純物濃度の大きい厚膜の層は結晶性が悪くなる傾向にある。このため結晶

性の悪い層の上に、活性層等の他の窒化物半導体を成長させても、結晶欠陥を他の層が引き継ぐことになって結晶性の向上が望めない。そこで、n側コンタクト層12層を成長させる前に、不純物濃度が小さい、結晶性の良い第2のバッファ層112を成長させることにより、キャリア濃度が大きく結晶性の良いn側コンタクト層12を成長させることができる。この第2のバッファ層112の膜厚は、0.1  $\mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは0.5  $\mu\text{m}$ 以上、最も好ましくは1  $\mu\text{m}$ 以上、20  $\mu\text{m}$ 以下に調整することが望ましい。第2のバッファ層112が0.1  $\mu\text{m}$ よりも薄いと、不純物濃度の大きいn型コンタクト層12を厚く成長させなければならず、n側コンタクト層12の結晶性の向上があまり望めない傾向にある。また20  $\mu\text{m}$ よりも厚いと、第2のバッファ層112自体に結晶欠陥が多くなりやすい傾向にある。また第2のバッファ層112を厚く成長させる利点として、放熱性の向上が挙げられる。つまりレーザ素子を作製した場合に、第2のバッファ層112で熱が広がりやすくレーザ素子の寿命が向上する。さらにレーザ光の漏れ光が第2のバッファ層112内で広がって、楕円形に近いレーザ光が得やすくなる。なお、第2のバッファ層112は、基板にGa<sub>2</sub>N、SiC、ZnO等の導電性基板を使用した場合には省略してもよい。

【0051】(n側コンタクト層12) n側コンタクト層12は負電極を形成するコンタクト層として作用する層であり、0.2  $\mu\text{m}$ 以上、4  $\mu\text{m}$ 以下に調整することが望ましい。0.2よりも薄いと、後で負電極を形成する際に、この層を露出させるようにエッチングレートを制御するのが難しく、一方、4  $\mu\text{m}$ 以上にすると不純物の影響で結晶性が悪くなる傾向にある。このn側コンタクト層12の窒化物半導体にドーピングするn型不純物の範囲は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲、さらに好ましくは、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に調整することが望ましい。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも小さいとn電極の材料と好ましいオーミックが得られにくくなるので、レーザ素子では閾値電流、電圧の低下が望めず、 $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも大きいと、素子自体のリーク電流が多くなったり、また結晶性も悪くなるため、素子の寿命が短くなる傾向にある。なおn側コンタクト層12においては、n電極23とのオーミック接触抵抗を小さくするために、該n側コンタクト層12のキャリア濃度を上げる不純物の濃度を、nクラッド層14よりも大きくすることが望ましい。なお、n側コンタクト層12は基板にGa<sub>2</sub>N、SiC、ZnO等の導電性基板を使用し基板裏面側に負電極を設ける場合にはコンタクト層としてではなくバッファ層として作用する。

【0052】また、第2のバッファ層11、及びn側コンタクト層12の内の少なくとも一方の層を、超格子層とすることもできる。超格子層とすると、この層の結晶

性が飛躍的に良くなり、閾値電流が低下する。好ましくは第2のバッファ層11よりも膜厚が薄いn側コンタクト層12の方を超格子層とする。n側コンタクト層12を互いにバンドギャップエネルギーが異なる第1の層と第2の層とが積層されてなる超格子構造とした場合においては、好ましくはバンドギャップエネルギーの小さな層を露出させてn電極23を形成することにより、n電極23との接触抵抗が低くでき閾値を低下させることができる。なおn型窒化物半導体と好ましいオーミックが得られるn電極23の材料としてはAl、Ti、W、Si、Zn、Sn、In等の金属若しくは合金が挙げられる。

【0053】また、n型コンタクト層12を不純物濃度が異なる超格子層とすることにより、実施形態1において説明したHEMTに類似した効果により横方向の抵抗値を低くでき、LD素子の閾値電圧、電流を低くすることができる。

【0054】(クラック防止層13) クラック防止層13は、例えば、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなり、例えば、500オングストロームの膜厚を有する。このクラック防止層13はInを含むn型の窒化物半導体、好ましくはInGa<sub>2</sub>Nを成長させて形成することにより、その上に形成されるAlを含む窒化物半導体層中にクラックが入るのを防止することができる。なお、このクラック防止層13は100オングストローム以上、0.5  $\mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることが好ましい。100オングストロームよりも薄いと前記のようにクラック防止として作用しにくく、0.5  $\mu\text{m}$ よりも厚いと、結晶自体が黒変する傾向にある。なお、このクラック防止層13は、本実施形態1のようにn側コンタクト層12を超格子とする場合、または次に成長させるn側クラッド層14を超格子層とする場合には省略してもよい。

【0055】(n型超格子からなるn側クラッド層14) n側クラッド層14は、例えばSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nからなり、20オングストロームの膜厚を有する第1の層、及びアンドープのGa<sub>2</sub>Nよりなり、20オングストロームの膜厚を有する第2の層とが交互に積層された超格子層よりなり、全体で例えば0.5  $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このn型クラッド層14はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、超格子層とした場合にはいずれか一方の層をAlを含む窒化物半導体、好ましくはAlGa<sub>2</sub>Nを成長させることが望ましく、100オングストローム以上、2  $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1  $\mu\text{m}$ 以下で成長させることにより良好なキャリア閉じ込め層が成長できる。このn型クラッド層14は単一の窒化物半導体で成長させることもできるが、超格子層とすることがクラックのない結晶性のよいキャリア閉じ込め層が形成できる。

【0056】(n側光ガイド層15) n側光ガイド層15は、例えば、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.5</sub>Nからなり、0.1  $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このn側光ガイド層6は、活性層の光ガイド層として作用し、Ga<sub>0.5</sub>N、InGa<sub>0.5</sub>Nを成長させて形成することが望ましく、通常100オングストローム～5  $\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。なお、この光ガイド層15も超格子層にすることができる。n側光ガイド層15、n側クラッド層14を超格子層にする場合、超格子層を構成する窒化物半導体層の平均的なバンドギャップエネルギーは活性層よりも大きくする。超格子層とする場合には、第1の層及び第2の層の少なくとも一方にn型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。また、この光ガイド層15は、アンドープの窒化物半導体単独若しくはアンドープの窒化物半導体が積層された超格子でもよい。

【0057】(活性層16) 活性層16は、例えば、Siを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ でドープしたIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなり、25オングストロームの膜厚を有する井戸層と、Siを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなり、50オングストロームの膜厚を有する障壁層とを交互に積層することにより、所定の膜厚を有する多重量子井戸構造(MQW)で構成する。活性層16においては、井戸層、障壁層両方に不純物をドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。なおn型不純物をドープすると閾値が低下する傾向にある。また、このように活性層16を多重量子井戸構造とする場合には必ずバンドギャップエネルギーの小さい井戸層と、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが小さい障壁層とを積層するため、超格子層とは区別される。井戸層の厚さは、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは、50オングストローム以下にする。障壁層の厚さは150オングストローム以下、好ましくは100オングストローム以下、最も好ましくは70オングストローム以下にする。

【0058】(p側キャップ層17) p側キャップ層17は、活性層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい、例えば、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなり、例えば、200オングストロームの膜厚を有する。本実施形態2では、このように、キャップ層17を用いることが好ましいが、このキャップ層は、薄い膜厚に形成されるので、本発明では、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型としても良い。p側キャップ層17の膜厚は0.1  $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1  $\mu\text{m}$ より厚い膜厚で成長させると、p側キャップ層17中にクラックが入りやすくなり、結晶性

の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。また、p側キャップ層17の膜厚が、0.1  $\mu\text{m}$ 以上であると、キャリアがこのエネルギーバリアとなるp型キャップ層17をトンネル効果により通過できなくなるからであり、該トンネル効果によるキャリアの通過を考慮すると、上述したように500オングストローム以下、さらには300オングストローム以下に設定することが好ましい。

【0059】また、p側キャップ層17には、LD素子を発振しやすくするために、Alの組成比が大きいAlGa<sub>0.5</sub>Nを用いて形成することが好ましく、該AlGa<sub>0.5</sub>Nを薄く形成する程、LD素子は発振しやすくなる。例えば、Y値が0.2以上のAl<sub>Y</sub>Ga<sub>1-Y</sub>Nであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層17の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0060】(p側光ガイド層18) p側光ガイド層18は、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層17よりも小さい、例えば、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.5</sub>Nよりなり、0.1  $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このp側光ガイド層18は、活性層16の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層15と同じくGa<sub>0.5</sub>N、InGa<sub>0.5</sub>Nで成長させて形成することが望ましい。また、この層はp側クラッド層19を成長させる際のバッファ層としても作用し、100オングストローム～5  $\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。このp側光ガイド層は通常はMg等のp型不純物をドープしてp型の導電型とするが、特に不純物をドープしなくても良い。なお、このp側光ガイド層を超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には第1の層及び第2の層の少なくとも一方にp型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。

【0061】(p側クラッド層19=超格子層) p側クラッド層19は、例えば、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなり、例えば、20オングストロームの膜厚を有する第1の層と、例えばMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.5</sub>Nよりなり、20オングストロームの膜厚を有する第2の層とが交互に積層された超格子層からなる。このp側クラッド層19は、n側クラッド層14と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、特にp型層の抵抗率を低下させるための層として作用する。このp側クラッド層19の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2  $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1  $\mu\text{m}$ 以下で形成することが望ましい。

【0062】(p側コンタクト層20) p側コンタクト層20は、p側クラッド層19の上に、例えば、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.5</sub>Nよりなり、

例えば、150オングストロームの膜厚を有する。このp側コンタクト層20はp型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ )で構成することができ、好ましくは、上述のようにMgをドープしたGa<sub>0.9</sub>Nとすれば、p電極21と最も好ましいオーミック接触が得られる。さらにp側コンタクト層の膜厚を500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整することが望ましい。なぜなら、上述したように抵抗率が数 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上もあるp型窒化物半導体層の膜厚を500オングストローム以下に調整することにより、さらに抵抗率を下げることができるため、閾値での電流、電圧が低下する。またp型層から除去される水素の量を多くすることができ、さらに抵抗率を低下させることができる。

【0063】なお、本発明では、p側コンタクト層20も超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には、特にバンドギャップエネルギーが異なる第1の層と第2の層とを積層し、第1+第2+第1+第2+...というように積層していき、最後にバンドギャップエネルギーが小さい方の層が露出するようにすると、p電極21と好ましいオーミック接触が得られる。p電極21の材料としては、例えばNi、Pd、Ni/Au等を挙げることができる。

【0064】また、本実施形態2では、図2に示すようにp電極21と、n電極23との間に露出した窒化物半導体層の表面に $\text{SiO}_2$ よりなる絶縁膜25が形成され、この絶縁膜25に形成された開口部を介してp電極21と電氣的に接続されたpパッド電極22、及びn電極23と接続されたnパッド電極24が形成される。このpパッド電極22は実質的なp電極21の表面積を広げて、p電極側をワイヤーボンディング、ダイボンディングできるようにし、一方nパッド電極24はn電極23の剥がれを防止する。

【0065】以上の実施形態2の窒化物半導体素子は、第1の層、及び第2の層を弾性歪み限界以下の膜厚にして積層された超格子層である、結晶性のよいp型クラッド層19を備えている。これによって、本実施形態2の窒化物半導体素子は、p側クラッド層19の抵抗値を、超格子構造を有しないp側クラッド層と比較して1桁以上低くすることができるので、閾値電圧、電流を低くすることができる。

【0066】また、本実施形態2の窒化物半導体素子ではp型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ を含むp側クラッド層19に接して、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体をp側コンタクト層20として、その膜厚を500オングストローム以下と薄く形成することにより、実質的にp側コンタクト層20のキャリア濃度が高くなりp電極と好ましいオーミックが得られて、素子の閾値電流、電圧を低くすることができる。さらに、n側コンタクト

層を成長させる前に、第2のバッファ層112を備えているので、第2のバッファ層112の上に成長させる窒化物半導体層の結晶性が良くなり、長寿命の素子を実現できる。好ましくは、第2のバッファ層112の上に成長させるn側コンタクト層を超格子とすると、横方向の抵抗値が低くなり、閾値電圧・閾値電流の低い素子可以实现できる。

【0067】なお、本実施形態2のLD素子ではInGa<sub>0.9</sub>Nのような、少なくともインジウムを含む窒化物半導体を活性層16に備える場合には、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ とが交互に積層された超格子層を、活性層16を挟設する層(n側クラッド層14及びp側クラッド層19)として用いることが好ましい。これによって、活性層16と該超格子層とのバンドギャップエネルギー差、屈折率差を大きくできるため、該超格子層をレーザ素子を実現する際に非常に優れた光閉じ込め層として動作させることができる。さらにInGa<sub>0.9</sub>Nは結晶の性質が他のAlGa<sub>0.9</sub>NのようなAlを含む窒化物半導体に比べて柔らかいので、InGa<sub>0.9</sub>Nを活性層とすると、積層した各窒化物半導体層全体にクラックが入りにくくなる。これによって、LD素子の寿命を長くすることができる。

【0068】本実施形態2のように量子井戸構造を有する活性層16を有するダブルヘテロ構造の半導体素子の場合、その活性層16に接して、活性層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい膜厚0.1 $\mu\text{m}$ 以下の窒化物半導体よりなるp側キャップ層17、好ましくはAlを含む窒化物半導体よりなるp側キャップ層17を設け、そのp側キャップ層17よりも活性層から離れた位置に、p側キャップ層17よりもバンドギャップエネルギーが小さいp側光ガイド層18を設け、そのp側光ガイド層18よりも活性層から離れた位置に、p側光ガイド層18よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体、好ましくはAlを含む窒化物半導体を含む超格子構造を有するp側クラッド層19を設けることは非常に好ましい。しかもp側キャップ層17のバンドギャップエネルギーを大きくしてあるため、n層から注入された電子が、このp側キャップ層17で阻止されて閉じ込められ、電子が活性層をオーバーフローしないために、素子のリーク電流が少なくなる。

【0069】以上の実施形態2の窒化物半導体素子では、レーザ素子の構造として好ましい構造を示したが、本発明ではn型の超格子層は活性層16から下のn型窒化物半導体層領域(n型層側)に少なくとも1層有していれば良く、またp型の超格子層も活性層16から上のp型窒化物半導体層領域(p型層側)に少なくとも1層有していれば良く、素子構成は特に規定するものではない。但し、前記超格子層はp層側に形成する場合はキャリア閉じ込め層としてのp側クラッド層19に形成し、n層側に形成する場合はn電極23が接した電流注入層

としてのnコンタクト層12、またはキャリア閉じ込めとしてのnクラッド層14として形成することが素子のV<sub>f</sub>、閾値を低下させる上で最も好ましい傾向にある。また、実施形態2の素子と同様の構成を、LED素子に適用できることはいうまでもない（ただし、LED素子では、リッジ部は必要ない）。

【0070】以上のように構成された実施形態2の窒化物半導体素子では、各層が形成された後、Hを含まない雰囲気、例えば、窒素雰囲気中で、400℃以上、例えば700℃でアニーリングを行うことが好ましく、これによって、p型窒化物半導体層領域の各層をさらに低抵抗化することができるので、これによって、さらに閾値電圧を低くすることができる。

【0071】また、実施形態2の窒化物半導体素子では、p側コンタクト層12の表面にNiとAuよりなるp電極21がストライプ状に形成され、このp電極21に対して左右対称にn側コンタクト層を露出させて、そのn側コンタクト層表面のほぼ全面にn電極23を設けている。このように、絶縁性基板を用いた場合p電極21の両側に左右対称にn電極23を設ける構造は、閾値電圧を低くする上で非常に有利である。

【0072】なお、本実施形態2では、リッジ部（ストライプ状の電極）に垂直な方向で劈開した劈開面（共振器面）にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成してもよい。

【0073】このように、本発明において、超格子層は、活性層を挟設するn型領域又はp型領域に形成されるキャリア閉じ込め層としてのクラッド層、活性層の光ガイド層、若しくは電極が接して形成される電流注入層として用いられるため、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーが活性層よりも大きくなるように調整することが望ましい。

#### 【0074】

【実施例】以下、実施例において本発明を詳説する。

【実施例1】本発明に係る実施例1は図2に示す窒化物半導体素子（LD素子）の作成例であり、以下の手順で作製される。まず、サファイア（C面）よりなる基板10を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニア（NH<sub>3</sub>）とTMG（トリメチルガリウム）とを用い、基板10上にGaNよりなる第1のバッファ層11を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0075】バッファ層11成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のアンドープGaNよりなる第2のバッファ層112を5μmの膜厚で成長させる。第2のバッファ層は $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$

$(0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1)$ で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはアンドープでAl（Y値）が0.1以下の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、最も好ましくはアンドープのGaNとする。続いて、1050℃でTMG、アンモニア、不純物ガスにシランガス（SiH<sub>4</sub>）を用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側コンタクト層12を1μmの膜厚で成長させる。このn側コンタクト層12は超格子で形成するとさらに好ましい。

【0076】次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニア、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるクラック防止層13を500オングストロームの膜厚で成長させる。そして温度を1050℃にして、TMA、TMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を20オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMA、シランを止め、アンドープGaNよりなる第2の層を20オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ100回繰り返し、総膜厚0.4μmの超格子層よりなるn側クラッド層14を成長させる。

【0077】続いて、1050℃でSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側光ガイド層15を0.1μmの膜厚で成長させる。次に、TMG、TMI、アンモニア、シランを用いて活性層16を成長させる。活性層16は温度を800℃に保持して、まずSiを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ でドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、Siを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後に井戸層を積層した総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造（MQW）の活性層16を成長させる。

【0078】次に、温度を1050℃に上げ、原料ガスにTMG、TMA、アンモニア、不純物ガスにCp<sub>2</sub>Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるp側キャップ層17を300オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、1050℃で、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層17よりも小さい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側光ガイド層18を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0079】続いて、TMA、TMG、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、1050℃でMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}$

<sup>3</sup> ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を20オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAのみを止め、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp型GaNよりなる第2の層を20オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこの操作をそれぞれ100回繰り返して、総膜厚0.4  $\mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層19を形成する。最後に、1050℃で、p側クラッド層19の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層20を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0080】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層20と、p側クラッド層19とをエッチングして、4  $\mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0081】次にリッジ表面にマスクを形成し、図2に示すように、ストライプ状のリッジに対して左右対称にして、n側コンタクト層12の表面を露出させる。次にp側コンタクト層20のストライブリッジ最表面のほぼ全面にNiとAuよりなるp電極21を形成する。一方、TiとAlよりなるn電極23をストライプ状のn側コンタクト層3のほぼ全面に形成する。

【0082】次に、図2に示すようにp電極21と、n電極23との間に露出した窒化物半導体層の表面にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介してp電極21と電気的に接続したpパッド電極22、及びnパッド電極24を形成する。以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハを研磨装置に移送

し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、窒化物半導体を形成していない側のサファイア基板1をラッピングし、基板の厚さを50  $\mu\text{m}$ とする。ラッピング後、さらに細かい研磨剤で1  $\mu\text{m}$ ポリッシングして基板表面を鏡面状とする。

【0083】基板研磨後、研磨面側をスクライブして、ストライプ状の電極に垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。共振器面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してレーザチップとした。次にチップをフェースアップ（基板とヒートシンクとが対向した状態）でヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度2.9 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.4 Vで、発振波長405 nmの連続発振が確認され、50時間以上の寿命を示した。

【0084】（比較例1）一方、第2のバッファ層112を成長させず、さらにn側コンタクト層12をSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたn型GaN単一で5  $\mu\text{m}$ 成長させ、n側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N単一で0.4  $\mu\text{m}$ 成長させ、p側クラッド層19をMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N単一で0.4  $\mu\text{m}$ 成長させ、さらにp側コンタクト層20をMgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした単一のp型GaNを0.2  $\mu\text{m}$ 成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得た。つまり基本構成として、表1に示すように構成する。

【0085】

30 【表1】

基板	10・・・サファイア	
nバッファ層	11・・・Ga <sub>0.9</sub> N	200Å
nコンタクト層	12・・・Siドープn型Ga <sub>0.9</sub> N Si: $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$	5 $\mu\text{m}$
クラック防止層	13・・・Siドープn型In <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> N Si: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	500Å
nクラッド層	14・・・Siドープn型Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N Si: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	0.5 $\mu\text{m}$
n光ガイド層	15・・・Siドープn型Ga <sub>0.9</sub> N Si: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	0.1 $\mu\text{m}$
活性層(MQW)	16・・・SiドープIn <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N (総膜厚175Å) SiドープIn <sub>0.01</sub> Ga <sub>0.95</sub> N Si: $8 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	25Å 50Å
pバッファ層	17・・・Mgドープp型Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> N Mg: $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$	300Å
p光ガイド層	18・・・Mgドープp型Ga <sub>0.9</sub> N Mg: $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$	0.1 $\mu\text{m}$
pクラッド層	19・・・Mgドープp型Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N Mg: $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$	0.5 $\mu\text{m}$
pコンタクト層	20・・・Mgドープp型Ga <sub>0.9</sub> N Mg: $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$	0.2 $\mu\text{m}$

【0086】このように構成した比較例のレーザ素子は、閾値電流密度7 kA/cm<sup>2</sup>で連続発振が確認されたが、閾値電圧は8.0 V以上あり、数分で切れてしまった。

【0087】【実施例2】実施例1において、n側コンタクト層12を、Siを $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる第1の層を30オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、アンドープのGa<sub>0.9</sub>Nよりなる第2の層を30オングストロームの膜厚で成長させて、これを繰り返し、総膜厚1.2  $\mu\text{m}$ の超格子構造とする。それ以外の構造は実施例1と同様の構造を有するレーザ素子としたところ、閾値電流密度2.7 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.2 Vで、寿命も60時間以上を示した。

【0088】【実施例3】実施例2において、n側コンタクト層12を構成する超格子において、第2の層をSiを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGa<sub>0.9</sub>Nとする他は、実施例2と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例2とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0089】【実施例4】実施例1において、第2のバッファ層112を、Siを $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープしたGa<sub>0.9</sub>Nとして、4  $\mu\text{m}$ 成長させる他は、実施例1と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度2.9 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.5 Vに上昇したが、寿命は50時間以上を示した。

【0090】【実施例5】実施例1において、n側コンタクト層12を、Siを $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を60オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、Siを $1 \times$

$10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGa<sub>0.9</sub>Nよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させて、順次これを繰り返し、総膜厚2  $\mu\text{m}$ の超格子構造とする。そして、n側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N単一で0.4  $\mu\text{m}$ 成長させる。それ以外の構造は実施例1と同様の構造を有するレーザ素子としたところ、閾値電流密度3.2 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.8 Vで、寿命も30時間以上を示した。

【0091】【実施例6】実施例6は、実施例1と比較して、以下の(1)、(2)が異なる他は、実施例1と同様に構成される。

(1) バッファ層11成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、原料ガスにTMA、TMG、アンモニア、シランを用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を60オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、シラン、TMAを止めアンドープのGa<sub>0.9</sub>Nよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させる。そして第1層+第2層+第1層+第2層+・・・というように超格子層を構成し、それぞれ第1の層を500層、第2の層を500層交互に積層し、総膜厚5  $\mu\text{m}$ の超格子よりなるn側コンタクト層12を形成する。

(2) 次に、実施例1と同様にして、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるクラック防止層13を500オングストロームの膜厚で成長させる。そして、温度を1050℃にして、TMG、アンモニア、シランを用い、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる



りなるn側クラッド層14を0.5 $\mu$ mの膜厚で成長させる。後の、n側クラッド層14から上は、実施例1のレーザ素子と同様の構造を有するレーザ素子とする。つまり表1の基本構造において、n側コンタクト層12、及びp側クラッド層19を超格子とし、p側コンタクト層20の膜厚を実施例1のように150オングストロームとするレーザ素子を作製する。このレーザ素子は閾値電流密度3.2kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.8Vで、405nmの連続発振が確認され、寿命も30時間以上を示した。

【0092】さらに、実施例6の構造のLD素子のp側コンタクト層の膜厚を順次変更した際、そのp側コンタクト層の膜厚と、LD素子の閾値電圧との関係を図3に示す。これはp側コンタクト層が、左から順にA(10オングストローム以下)、B(10オングストローム)、C(30オングストローム)、D(150オングストローム、本実施例)、E(500オングストローム)、F(0.2 $\mu$ m)、G(0.5 $\mu$ m)、H(0.8 $\mu$ m)の場合の閾値電圧を示している。この図に示すように、p側コンタクト層の膜厚が500オングストロームを超えると閾値電圧が次第に上昇する傾向にある。p側コンタクト層20の膜厚は500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下であることが望ましい。なお10オングストローム以下(およそ1原子層、2原子層近く)になると、下部のp側クラッド層19の表面が露出してくるため、p電極のコンタクト抵抗が悪くなり、閾値電圧は上昇する傾向にある。しかしながら、本発明のLD素子では超格子層を有しているために、閾値電圧が比較例のものに比べて大幅に低下している。

【0093】(比較例2)表1の構成のレーザ素子において、n側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を180オングストロームの膜厚で成長させ、続いてアンドープのGaNよりなる第2の層を120オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚0.6 $\mu$ mの多層膜とする。つまり第1の層と第2の層の膜厚を厚くした構造で構成してレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度6.5kA/cm<sup>2</sup>で連続発振が確認され、閾値電圧が7.5Vであった。なおこのレーザ素子は数分で切れてしまった。

【0094】[実施例7] 実施例6において、p側クラッド層19をMgを $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N、60オングストロームよりなる第1の層と、Mgを $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたp型GaN、40オングストロームよりなる第2の層とを積層した総膜厚0.5 $\mu$ mの超格子構造とする他は実施例6と同様のレーザ素子を作製する。つまり、実施例6のp側クラッド層19を構成する超格子層の膜厚を変える他は同様にしてレーザ素子を作製したところ、閾値電圧が

実施例6のレーザ素子に比較して若干上昇する傾向にあったが、20時間以上の寿命を示した。

【0095】[実施例8] 実施例7において、さらにn側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N、60オングストロームよりなる第1の層と、Siを $1 \times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたn型GaN、40オングストロームよりなる第2の層とを積層した総膜厚0.5 $\mu$ mの超格子構造とする他は実施例7と同様のレーザ素子を作製する。つまり、実施例6のn側コンタクト層12、p側クラッド層19に加えてn側クラッド層を超格子としたレーザ素子は、実施例6とほぼ同等の特性を有していた。

【0096】[実施例9] 実施例1において、第2のバッファ層112を成長させずに、表1に示すように、第1のバッファ層11の上に、直接n側コンタクト層12としてSiを $1 \times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたn型GaN層を5 $\mu$ m成長させる。その他は、実施例1と同様の構造を有するレーザ素子とする。つまり、表1の基本構造において、n側クラッド層14を20オングストロームのSi( $1 \times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup>)ドープn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層と、20オングストロームのアンドープGaNよりなる第2の層とを積層してなる総膜厚0.4 $\mu$ mの超格子構造とする。さらにp側クラッド層19を20オングストロームのMg( $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup>)ドープp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層と、20オングストロームのMg( $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup>)ドープp型GaNよりなる第2の層とを積層してなる総膜厚0.4 $\mu$ mの超格子構造とする。さらにまたp側コンタクト層20を実施例1のように150オングストロームのMg( $2 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup>)ドープp型GaNとしたところ、閾値電流密度3.3kA/cm<sup>2</sup>で、405nmの連続発振が確認され、閾値電圧は5.0V、寿命も30時間以上を示した。

【0097】[実施例10] 実施例9において、n側クラッド層14の超格子を構成する第2の層を、Siを $1 \times 10^{17}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたGaNとする他は、実施例9と同様のレーザ素子を作製する。つまりバンドギャップエネルギーの大きい方の層に、Siを多くドープする他は、実施例9と同様にして作製したレーザ素子は、実施例9とほぼ同等の特性を示した。

【0098】[実施例11] 実施例9において、n側クラッド層14を構成する第2の層を、Siを $1 \times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nとする他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまりn側クラッド層14の超格子を構成する第2の層の組成をInGaNとし、第1の層と第2の層との不純物濃度を同じにする他は、実施例9と同様にして作製したレーザ素子は、実施例9とほぼ同等の特性を示した。

【0099】[実施例12] 実施例9において、n側クラッド層14を構成する第1の層(Si: $1 \times 10^{19}$

／ $\text{cm}^3$  ドープ  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  の膜厚を60オングストロームとし、第2の層をSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした40オングストロームのGa $\text{N}$ とし、総膜厚0.5 $\mu\text{m}$ の超格子構造とする。さらにp側クラッド層19を構成する第1の層(Mg： $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープ  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )の膜厚を60オングストロームとし、第2の層(Mg： $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープ：Ga $\text{N}$ )の膜厚を40オングストロームとし、総膜厚0.5 $\mu\text{m}$ の超格子構造とする。つまりn側クラッド層14を構成する第1の層と第2の層のドーパ量を同じにして、膜厚を変化させ、p側クラッド層19を構成する第1の層と第2の層との膜厚を変化させる他は、実施例9と同様にしてレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度3.4kA/ $\text{cm}^2$ で、405nmの連続発振が確認され、閾値電圧は5.2V、寿命も20時間以上を示した。

【0100】[実施例13] 実施例11において、n側クラッド層14を構成する第2の層(Ga $\text{N}$ )のSi濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ とする他は実施例11と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例11とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0101】[実施例14] 実施例11において、n側クラッド層14を構成する第2の層(Ga $\text{N}$ )をアンドープとする他は実施例11と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例11とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0102】[実施例15] 実施例9において、n側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 単一で0.4 $\mu\text{m}$ 成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまり、表1の基本構造において、p側クラッド層19のみを実施例1のようにMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたp型Ga $\text{N}$ よりなる第2の層20オングストロームとからなる総膜厚0.4 $\mu\text{m}$ の超格子構造とし、さらに、p側コンタクト層20を実施例1のように150オングストロームのMg( $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ) ドープp型Ga $\text{N}$ としたところ、同じく閾値電流密度3.4kA/ $\text{cm}^2$ で、405nmの連続発振が確認され、閾値電圧は5.1V、寿命は20時間以上を示した。

【0103】[実施例16] 実施例15において、p側クラッド層19を構成する超格子層の膜厚を第1の層( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )を60オングストロームとし、第2の層(Ga $\text{N}$ )を40オングストロームとして積層し、総膜厚0.5 $\mu\text{m}$ とする他は実施例14と同様のレーザ素子を得たところ、閾値電圧は若干上昇する傾向にあったが、寿命は20時間以上あった。

【0104】[実施例17] 実施例9において、p側クラッド層19をMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp

型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 単一で0.4 $\mu\text{m}$ 成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまり、表1の基本構造において、n側クラッド層14のみを実施例1のようにSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープのGa $\text{N}$ よりなる第2の層20オングストロームとからなる総膜厚0.4 $\mu\text{m}$ の超格子構造とし、さらに、p側コンタクト層20を実施例1のように150オングストロームのMg( $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ) ドープp型Ga $\text{N}$ としたところ、同じく閾値電流密度3.5kA/ $\text{cm}^2$ で、405nmの連続発振が確認され、閾値電圧は5.4V、寿命は10時間以上を示した。

【0105】[実施例18] 実施例17において、n側クラッド層14を構成する超格子層の膜厚を第1の層( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )を70オングストロームとし、第2の層をSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 、70オングストロームとして積層し、総膜厚0.49 $\mu\text{m}$ とする他は実施例17と同様のレーザ素子を得たところ、実施例16に比べて閾値電圧が若干上昇する傾向にあったが、同じく10時間以上の寿命を有するレーザ素子が得られた。

【0106】[実施例19] 実施例17において、n側クラッド層14を構成する超格子層の膜厚を第1の層( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )を60オングストロームとし、第2の層(アンドープGa $\text{N}$ )を40オングストロームとして積層し、総膜厚0.5 $\mu\text{m}$ とする他は実施例16と同様のレーザ素子を得たところ、実施例17に比べて閾値電圧が若干上昇する傾向にあったが、同じく10時間以上の寿命を有するレーザ素子が得られた。

【0107】[実施例20] 実施例9において、さらにn側光ガイド層15をアンドープのGa $\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第2の層、20とを積層してなる総膜厚800オングストロームの超格子層とする。それに加えて、p側光ガイド層18もアンドープのGa $\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第2の層、20オングストロームとを積層してなる総膜厚800オングストロームの超格子構造とする。つまり、表1の基本構造において、n側クラッド層14、n側光ガイド層15、p側光ガイド層18、及びp側クラッド層19とを超格子構造とし、さらにまたp側コンタクト層20を実施例1のように150オングストロームのMg( $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ) ドープp型Ga $\text{N}$ としたところ、閾値電流密度2.9kA/ $\text{cm}^2$ で、405nmの連続発振が確認され、閾値電圧は4.4V、寿命も60時間以上を示した。

【0108】[実施例21] 本実施例は図1のLED素子を元に説明する。実施例1と同様にしてサファイアよ

りなる基板1の上にGa<sub>0.8</sub>N<sub>0.2</sub>よりなるバッファ層2を200オングストロームの膜厚で成長させ、次いでSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたn型Ga<sub>0.8</sub>N<sub>0.2</sub>よりなるコンタクト層を5μmの膜厚で成長させ、次にIn<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなる膜厚30オングストロームの単一量子井戸構造よりなる活性層4を成長させる。

【0109】(p側超格子層)次に、実施例1と同様にして、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を20オングストロームの膜厚で成長させ、続いてMgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたp型Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層を20オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚0.4μmの超格子よりなるp側クラッド層5を成長させる。このp側クラッド層4の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2μm以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1μm以下で成長させることが望ましい。

【0110】次にこのp側クラッド層5の上にMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp型Ga<sub>0.8</sub>N層を0.5μmの膜厚で成長させる。成長後、ウェーハを反応容器から取り出し実施例1と同様にして、アニーリングを行った後、p側コンタクト層6側からエッチングを行いn電極9を形成すべきn側コンタクト層3の表面を露出させる。最上層のp側コンタクト層6のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNi-Auよりなる透光性のp電極7を形成し、その全面電極7の上にAuよりなるパッド電極8を形成する。露出したn側コンタクト層の表面にもTi-Alよりなるn電極9を形成する。

【0111】以上のようにして電極を形成したウェーハを350μm角のチップに分離してLED素子としたところ、If 20mAにおいて520nmの緑色発光を示し、Vfは3.2Vであった。これに対し、p側クラッド層5を単一のMgドープAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nで構成したLED素子のVfは3.4Vであった。さらに静電耐圧は本実施例の方が2倍以上の静電耐圧を有していた。

【0112】【実施例22】実施例21において、p側クラッド層5を構成する超格子層を、第1の層の膜厚を50オングストロームとし、第2の層をMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたGa<sub>0.8</sub>N、50オングストロームとして、それぞれ25層積層し、総膜厚0.25μmの超格子とする他は同様にしてLED素子を作成したところ、実施例21とほぼ同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0113】【実施例23】実施例21において、p側クラッド層5を構成する超格子層の厚さを、第1の層100オングストローム、第2の層を70オングストロームの膜厚として、総膜厚0.25μmの超格子とする他は同様にしてLED素子を作成したところ、Vfは3.4Vであったが、静電耐圧は従来のものよりも20%以

上優れていた。

【0114】【実施例24】実施例21において、n側コンタクト層3を成長させる際、Siを $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を60オングストローム、アンドープのGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させ、それぞれ第1の層を500層、第2の層を500層交互に積層し、総膜厚5μmの超格子とする。その他は実施例12と同様にしてLED素子を作製したところ、同じくIf 20mAにおいて、Vfは3.1Vに低下し、静電耐圧は従来に比較比較して2.5倍以上に向上した。

【0115】【実施例25】実施例23において、p側クラッド層5を構成する超格子の第1の層(Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N)の膜厚を60オングストロームとし、第2の層の膜厚を40オングストロームとして、それぞれ25層交互に積層して、総膜厚0.3μmとする他は同様の構造を有するLED素子を作製したところ、Vfは3.2Vで、静電耐圧は従来の2倍以上であった。

【0116】【実施例26】本実施例は図4に示すレーザ素子を基に説明する。図4も、図2と同様にレーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の断面図であるが、図2と異なるところは、基板101にGa<sub>0.8</sub>Nよりなる基板101を用いているところと、第2のバッファ層112を成長させずに、n型不純物をドープした第3のバッファ層113を成長させているところにある。この図4に示すレーザ素子は以下の方法によって得られる。

【0117】まずサファイア基板上にMOVPE法、若しくはHVPE法を用いて、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープしたGa<sub>0.8</sub>N層を厚さ300μmで成長させた後、サファイア基板を除去して厚さ300μmのSiドープGa<sub>0.8</sub>N基板101を作製する。Ga<sub>0.8</sub>N基板101は、このように窒化物半導体と異なる基板の上に、例えば100μm以上の膜厚で成長させた後、その異種基板を除去することによって得られる。Ga<sub>0.8</sub>N基板101はアンドープでも良いし、またn型不純物をドープして作製しても良い。n型不純物をドープする場合には通常 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  の範囲で不純物をドープすると結晶性の良いGa<sub>0.8</sub>N基板が得られる。

【0118】Ga<sub>0.8</sub>N基板101作製後、温度を1050℃にして、Siを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープしたn型Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第3のバッファ層113を3μmの膜厚で成長させる。なお第3のバッファ層113は図1、図2においてn側コンタクト層14に相当する層であるが、電極を形成する層ではないので、ここではコンタクト層とは言わず、第3のバッファ層113という。なおGa<sub>0.8</sub>N基板101と第3のバッファ層113との間に、実施例1と同様にして低温で成長させる第1のバッファ層を成長させても良いが、第1のバッファ層を成長させる場

合には、300オングストローム以下にすることが望ましい。

【0119】次に第3のバッファ層113の上に、実施例1と同様にSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIno.1Ga0.9Nよりなるクラック防止層13を500オングストロームの膜厚で成長させる。次に、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al0.2Ga0.8Nよりなる第1の層、20オングストロームと、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる第2の層20オングストロームとを100回交互に積層した、総膜厚0.4 $\mu\text{m}$ の超格子層よりなるn側クラッド層14を成長させる。次に実施例1と同様に、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側光ガイド層15を0.1 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0120】次に、アンドープIno.2Ga0.8Nよりなる井戸層、25オングストロームと、アンドープGaNよりなる障壁層50オングストロームとを成長させ、交互に2回繰り返す、最後に井戸層を積層した総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層16を成長させる。

【0121】次に、実施例1と同様に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al0.3Ga0.7Nよりなるp側キャップ層17を300オングストロームの膜厚で成長させ、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側光ガイド層18を0.1 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0122】次に実施例1と同様にして、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al0.2Ga0.8Nよりなる第1の層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなる第2の層、20オングストロームよりなる、総膜厚0.4 $\mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層19を形成し、最後に、p側クラッド層19の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層20を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0123】反応終了後、700℃でアニーリングした後、実施例1と同様に、RIE装置により最上層のp側コンタクト層20と、p側クラッド層19とをエッチングして、4 $\mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0124】次に、実施例1と同じくp側コンタクト層20のストライプリッジ最表面のほぼ全面にNiとAuよりなるp電極21を形成し、GaN基板101の裏面のほぼ全面に、TiとAlよりなるn電極23を形成する。

【0125】次に、図4に示すようにp電極21の面積を除く、p側クラッド層19のSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介して、p電極21と電氣的に接続したpパッド電極22を形成する。

【0126】電極形成後、p電極21に垂直な方向でG

aN基板101をバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。なおGaN基板の劈開面はM面とする。劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断して図4に示すレーザチップとした。次にチップをフェースアップ(基板とヒートシンクとが対向した状態)でヒートシンクに設置し、pパッド電極22をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度2.5kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.0Vで、発振波長405nmの連続発振が確認され、500時間以上の寿命を示した。これは基板にGaNを使用したことにより、結晶欠陥の広がりが少なくなったことによる。

【0127】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る窒化物半導体素子は、活性層以外のp型窒化物半導体領域又はn型窒化物半導体領域において、超格子層を用いて構成しているので、電力効率を極めて良くすることができる。すなわち、従来の窒化物半導体素子では、活性層を多重量子井戸構造とすることは提案されていたが、活性層を挟む、例えばクラッド層等は単一の窒化物半導体層で構成されているのが通常であった。しかし、本発明の窒化物半導体素子では量子効果が出現するような層を有する超格子層をクラッド層、若しくは電流を注入するコンタクト層として設けているため、クラッド層側の抵抗率を低くすることができる。これによって、例えばLD素子の閾値電流、閾値電圧を低くでき、該素子を長寿命とすることができる。さらに従来のLEDは静電気に弱かったが、本発明では静電耐圧に強い素子を実現できる。このようにVf、閾値電圧が低くできるので、発熱量も少なくなり、該素子の信頼性も向上させることができる。本発明の窒化物半導体素子によれば、LED、LD等の発光素子はもちろんのこと、窒化物半導体を用いた太陽電池、光センサー、トランジスタ等に利用すると非常の効率の高いデバイスを実現することが可能となりその産業上の利用価値は非常に大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る実施形態1の窒化物半導体素子(LED素子)の構成を示す模式断面図である。

【図2】 本発明に係る実施形態2の窒化物半導体素子(LD素子)の構成を示す模式断面図である。

【図3】 本発明に係る実施例1のLD素子におけるp側コンタクト層の膜厚と、閾値電圧との関係を示すグラフである。

【図4】 本発明に係る実施例26のLD素子の模式断面図である。

【符号の説明】

- 1、10・・・基板、
- 2、11・・・バッファ層、
- 3、12・・・n側コンタクト層、

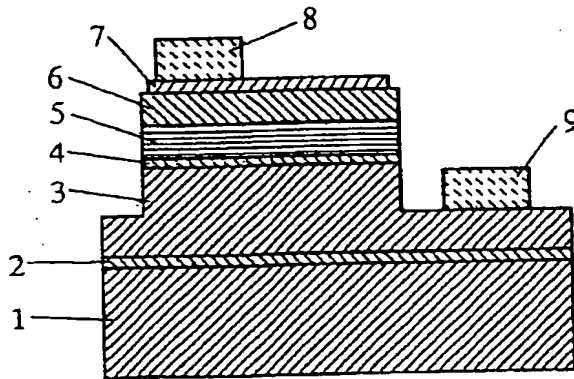
37

- 13・・・クラック防止層、  
 14・・・n側クラッド層（超格子層）、  
 15・・・n側光ガイド層、  
 4、16・・・活性層、  
 17・・・キャップ層、  
 18・・・p側光ガイド層、  
 5、19・・・p側クラッド層（超格子層）、  
 6、20・・・p側コンタクト層、

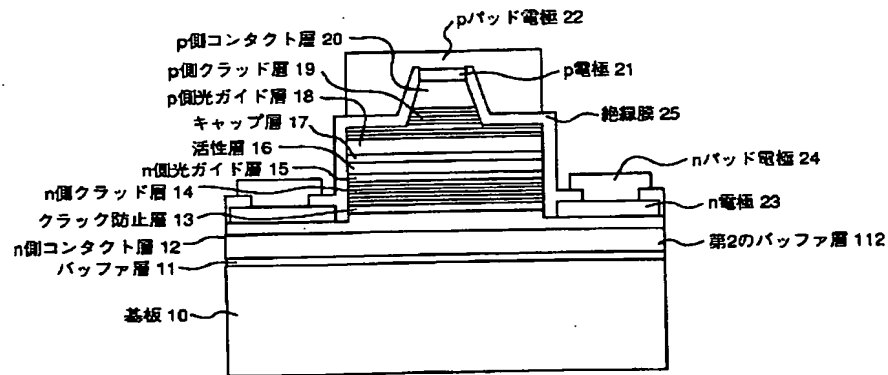
38

- 7、21・・・p電極、  
 8、22・・・pパッド電極、  
 9、23・・・n電極、  
 24・・・nパッド電極、  
 25・・・絶縁膜、  
 101・・・GaN基板、  
 112・・・第2のバッファ層、  
 113・・・第3のバッファ層。

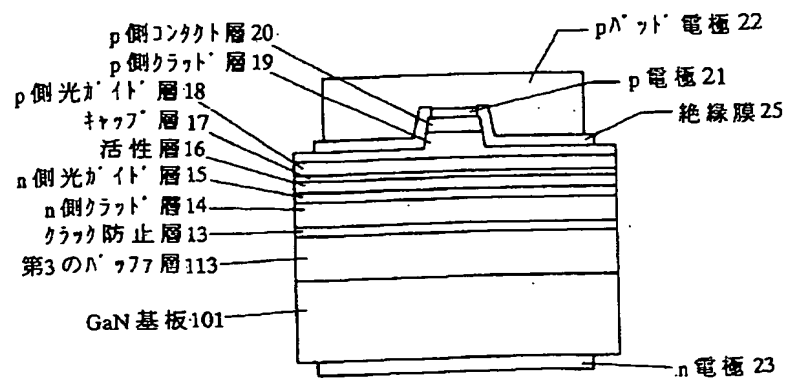
【図1】



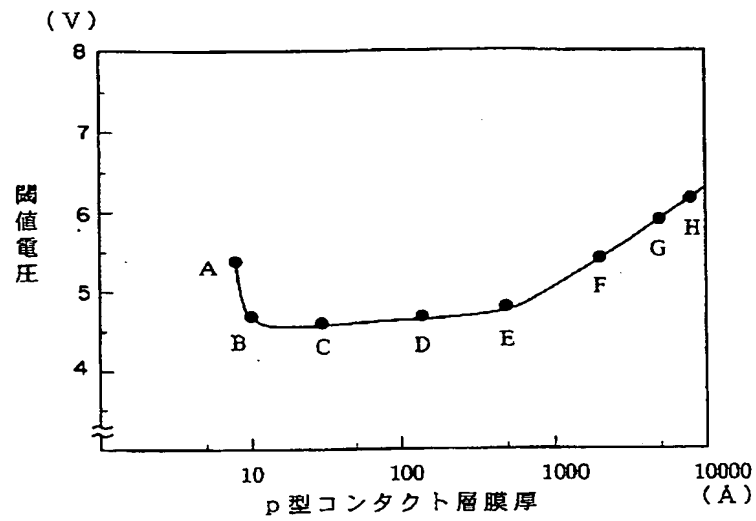
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 修二  
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
学工業株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA24 AA43 CA05 CA34 CA40  
CA46 CA65  
5F073 AA11 AA13 AA45 AA47 AA55  
AA77 CA02 CA03 DA05 EA23  
EA28